

15. Alesenkov, Yu. M. Diameter structure of long-term secondary horse-tail and reed grass birch stand after Storm Wind Influence / Yu. M. Alesenkov, G. V. Andreev, S. V. Ivanchikov // Forest inventory and forest planning. – 2014. – № 1 (51). P. 29–34.
16. Alesenkov, Yu. M. Dynamics and structure of yield of post wind-throw long-term secondary horse-tail and reed grass birch stand / Yu. M. Alesenkov, G. V. Andreev, S. V. Ivanchikov // Russian journal of forestry. – 2015. – № 2. – P. 32–35.
17. Svalov S. N. Using of statistical methods in forestry / S. N. Svalov // Results of science and techniques: forest science and forestry. – Moscow : VINITI, 1985. – Vol. 4. – P. 1–164.
18. Smolonogov, Ye. P. Ecological-forestry foundations of organization and conduction in Siberian pine forests at Ural and West-Siberian plane / Ye. P. Smolonogov, S. V. Zalesov. – Yekaterinburg : Ural state forest-engineering university, 2002. – 186 p.

УДК 582.475.2: 581.522.68

РОСТ И РАЗВИТИЕ ВИДОВ ACER (ACERACEAE), ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В ТАЕЖНУЮ ЗОНУ (КАРЕЛИЯ)

И. Т. КИЩЕНКО – доктор биологических наук,
профессор кафедры ботаники и физиологии растений,
Петрозаводский государственный университет
185640, Карелия, Петрозаводск, пр. Ленина 33,
тел.: (814 2) 78-51-40, факс: (814 2) 71-10-00,
e-mail: ivanki@karelia.ru

Ключевые слова: *рост, развитие, интродукция, Acer.*

Исследования проводили в 1978–2017 гг. в ботаническом саду Петрозаводского государственного университета (подзона средней тайги). Изучали рост и развитие 6 интродуцированных видов рода *Acer*: *A. ginnala* Maxim., *A. semenovii* Regel. et Herd., *A. negundo* L., *A. tataricum* L., *A. platanoides* L. и *A. pseudoplatanus* L. Исследованиями установлено, что рост листьев у изученных видов *Acer* начинается в конце мая, а побегов – в первой половине июня. При этом различия между видами не превышают 3–4 сут. Время прекращения роста побегов и листьев у разных видов *Acer* отличается не более чем на 3–7 сут и наблюдается во второй половине июля. Благодаря максимальной интенсивности ростовых процессов наибольшая площадь листовой пластинки формируется у *A. pseudoplatanus* и у *A. platanoides*. Сроки начала и кульминации прироста побегов и листьев определяются в основном температурой воздуха, в связи с чем они могут испытывать погодичную изменчивость в пределах 1–3 недель. Между интенсивностью прироста побегов и листьев, с одной стороны, и динамикой температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков и солнечной радиации, с другой стороны, обычно прослеживается положительная и довольно заметная зависимость. Установлены группы растений в зависимости от сроков прохождения фенофаз: поздно начинающие и рано заканчивающие развитие (*A. platanoides*), рано начинающие и рано заканчивающие (*A. negundo*), поздно начинающие и поздно заканчивающие развитие (остальные 4 вида). Сроки наступления большей части фенофаз у изученных видов *Acer* в значительной мере зависят от температуры и влажности воздуха, а также солнечной радиации. Зависимость между сроками наступления фенофаз и изучаемыми климатическими факторами носит прямолинейный характер, а ее форма и сила определяются биологией

вида и спецификой самой фенофазы. К очень перспективным для интродукции в таежную зону относятся *A. platanoides*, *A. ginnala* и *A. tataricum*, а к довольно перспективным – *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* и *A. semenovii*.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF ACER SPECIES (ACERACEAE) INTRODUCED TO THE SECRET AREA (KARELIA)

I.T. KISHCHENKO – Doctor of Biological Sciences,
professor of chair «Department of botany and plant physiology»
Petrozavodsk State University 185640, Karelia, Petrozavodsk, 33 Lenin Ave.,
phone: (814 2) 78-51-40, fax: (814 2) 71-10-00,
e-mail: ivanki@karelia.ru

Keywords: growth, development, introduction, *Acer*.

The studies were conducted in 1978–2017 in the botanical garden of Petrozavodsk State University (subzone of the middle taiga). We studied the growth and development of 6 introduced species of the genus *Acer*: *A. ginnala* Maxim., *A. semenovii* Regel. et Herd., *A. negundo* L., *A. tataricum* L., *A. platanoides* L. and *A. pseudoplatanus* L. Studies have shown that leaf growth in the studied *Acer* species begins in late May, and shoots in the first half of June. Moreover, the differences between the species do not exceed 3–4 days / The time for the termination of the growth of shoots and leaves in different *Acer* species differs by no more than 3–7 days and is observed in the second half of July. Due to the maximum intensity of growth processes, the largest leaf blade area is formed in *A. pseudoplatanus* and *A. platanoides*. The timing of the onset and culmination of the growth of shoots and leaves is determined mainly by air temperature, in connection with which they can experience weather variability within 1–3 weeks. Between the growth rate of shoots and leaves, on the one hand, and the dynamics of temperature and humidity, precipitation and solar radiation, on the other hand, a positive and rather noticeable relationship is usually observed. Groups of plants were established depending on the timing of the passage of the phenophases: late-onset and early-termination of development (*A. platanoides*), early-onset and early-termination (*A. negundo*), late-onset and late-onset development (the remaining 4 species). The timing of the onset of most of the phenophases in the studied *Acer* species is largely dependent on temperature and humidity, as well as solar radiation. The relationship between the timing of the onset of phenophases and the studied climatic factors is straightforward, and its shape and strength are determined by the species biology and the specifics of the phenophase itself. *A. platanoides*, *A. ginnala*, and *A. tataricum* are very promising for introduction into the taiga zone, and *A. negundo*, *A. pseudoplatanus*, and *A. semenovii* are quite promising.

Введение

Загрязнение окружающей среды с каждым годом усиливается, в связи с чем возрастает необходимость увеличения объема озеленительных работ. Большинство аборигенных видов древесных растений российской тайги плохо переносят наличие поллютантов [1]. Между тем многие виды лиственных

древесных растений, в том числе и рода Асег (из других географических районов) обладают декоративностью и высокой устойчивостью к загрязнению окружающей среды [1, 2, 3]. Наряду с этим многие виды рода Асег отличаются и устойчивостью к суровым условиям и даже способны натурализоваться в таежной зоне [1, 4–6].

Поэтому их интродукция в таежную зону становится все более актуальной. Для правильного выбора и введения интродуцента в местную флору необходима всесторонняя и глубокая их оценка. Степень соответствия ритмики роста и развития растения динамике экологических факторов является одним из наиболее информативных критериев

интродукции [1, 7]. Именно сезонный ритм развития, являясь интегральным показателем, наиболее наглядно и точно характеризует адаптацию растений к условиям среды и соответствие последних биологии вида [8, 9, 10].

Выяснению вопросов особенностей сезонного развития лиственных древесных растений в отечественной литературе посвящено сравнительно мало исследований. Цель настоящей работы – изучение особенности сезонного роста и развития интродуцентов рода *Асег* в Карелии.

Материалы и методы

Исследования проводили в 1978–2017 гг. в ботаническом саду Петрозаводского государственного университета, расположенного на северном берегу Петрозаводской губы Онежского озера (подзона средней тайги). Объектами исследований служили 6 видов рода *Асег*: клен приречный *A. ginnala* Maxim., клен Семенова *A. semenovii* Regel. et Herd., клен ясенелистный *A. negundo* L., клен татарский *A. tataricum* L., клен остролистный *A. platanoides* L. и клен ложноплатановый *A. pseudoplatanus* L.*

Деревья высажены в возрасте 6–8 лет. Каждый вид представлен 15–30 особями. Возраст растений – 46–61 год. Деревья всех видов плодоносят. *A. ginnala* естественно произрастает в восточной Азии, *A. semenovii* – в Средней Азии, *A. tataricum*,

A. pseudoplatanus и *A. platanoides* – в Европе и Юго-Западной Азии. Родина *A. negundo* – Северная Америка.

Рост растений изучали в течение двух лет. С помощью линейки измеряли длину стеблей (далее просто «побегов» второго порядка ветвления) с юго-западной части кроны на высоте около 2 м с момента набухания почек до заложения зимующих почек через каждые 2–3 сут. Площадь листьев измеряли планиметром с момента фазы их обособления до полного прекращения роста через каждые 2–3 сут. Объем выборки по каждому объекту составлял 25 побегов и листьев. Значение суточного прироста рассчитывали как разницу в величине изучаемого признака между последующим и предшествующим наблюдениями данного периода, деленное на число суток этого периода [12].

Фенологические наблюдения проводили в течение 39 лет с мая по сентябрь каждые трое суток, используя методические указания Е. Н. Булыгина [13]. Фиксировали время прохождения таких фенофаз, как набухание и раскрытие вегетативных и генеративных почек, начало и окончание роста побегов, обособление, распускание, завершение роста, расцветивание и опадение листьев, опробковение побегов, бутонизация, цветение, заложение, созревание и опадение зрелых плодов. Фенофаза считалась наступившей, если она отмечалась не менее чем

у 30 % побегов всех особей исследуемого вида.

Визуальную оценку перспективности интродукции древесных растений проводили, используя методику П. И. Лапина и С. В. Сидневой [14].

Метеорологические данные были получены от Сулажгорской метеостанции (Карельская гидрометеобсерватория), расположенной в 3 км юго-западнее ботанического сада. Все выборки проверены на закон нормального распределения. Коэффициенты корреляции и различия между средними величинами оценены на достоверность. Из полученных элементарных статистик, в частности, следует, что показатель точности опыта довольно высок (4–5 %), а коэффициент вариации невелик (13–17 %).

Результаты и их обсуждение

Рост растений. Проведенные исследования позволили установить, что сроки начала роста побегов изучаемых видов *Асег* могут варьировать по годам в пределах двух недель и приходятся на первую половину июня. При этом различия между видами не превышают 3–4 сут (табл. 1). Изменчивость такого рода отмечал и Н. В. Шкутко [15].

Сроки окончания роста побегов варьируют по годам также в пределах двух недель. Время наступления этой фенофазы у разных видов *Асег* отличается не более чем на 3–7 сут и наблюдается во второй половине июля. По мнению Н. В. Шкутко [15],

* По С. К. Черепанову [11].

степень адаптации интродуцентов к новым климатическим условиям тем выше, чем менее изменчивы сроки начала и окончания их фенофаз. По нашим данным, наименьшая вариабель-

ность сроков прекращения роста побегов (в пределах 3 сут) характерна для *A. ginnala*, *A. negundo* и *A. platanoides*.

Значительные погодичные изменения в сроках начала и

окончания роста побегов соответственно отражаются на продолжительности их формирования. В зависимости от вида растения она варьирует от 34 до 56 сут (табл. 2).

Таблица 1

Table 1

Температурный режим в период роста побегов (над чертой)
и листьев (под чертой) у различных видов *Acer*
Temperature conditions during the growth of shoots (above the line)
and leaves (below the line) in various species of *Acer*

| Вид Species | Годы наблюдений Years of monitoring | Начало роста The beginning of the growth | | | Кульминация прироста The culmination of the growth | | | Окончание роста End of growth | | |
|--------------------------|--|---|--|---|---|--|---|----------------------------------|--|---|
| | | Дата Date | Среднесуточная температура воздуха, °C Daily air temperature, °C | Сумма положительных температур, °C The sum of positive temperatures, °C | Дата Date | Среднесуточная температура воздуха, °C Daily air temperature, °C | Сумма положительных температур, °C The sum of positive temperatures, °C | Дата Date | Среднесуточная температура воздуха, °C Daily air temperature, °C | Сумма положительных температур, °C The sum of positive temperatures, °C |
| <i>Acer ginnala</i> | 2001 | 12.VI 01.VI | 10.8 8.0 | 550 363 | 3–6.VII 05–08.VI | 20.5 14.1 | 889 453 | 19.VII 16.VII | 23.6 23.8 | 1150 1083 |
| | 2002 | 01.VI 24.V | 20.2 2.5 | 300 215 | 28.VI–02.VII 12–16.VI | 15.0 13.7 | 770 526 | 22.VII 18.VII | 17.8 16.6 | 1158 1081 |
| <i>A. negundo</i> | 2001 | 12.VI 01.VI | 10.8 8.0 | 550 363 | 25–28.VI 08–12.VI | 12.3 12.8 | 725 503 | 16.VII 16.VII | 23.8 23.8 | 1083 1083 |
| | 2002 | 28.V 24.V | 7.5 2.5 | 239 363 | 24–28.VI 12–16.VI | 14.9 13.7 | 711 526 | 14.VII 18.VII | 18.5 16.6 | 1015 1081 |
| <i>A. platanoides</i> | 2001 | 16.VI 01.VI | 16.4 8.0 | 602 363 | 7–10.VII 03–07.VII | 18.2 19.6 | 961 905 | 19.VII 16.VII | 23.6 23.8 | 1150 1083 |
| | 2002 | 01.VI 24.V | 20.2 2.5 | 300 215 | 28.VI–02.VII 16–20.VI | 15.0 19.0 | 770 600 | 14.VII 10.VII | 18.5 21.1 | 1015 928 |
| <i>A. pseudoplatanus</i> | 2001 | 12.VI 01.VI | 10.8 8.0 | 550 363 | 3–6.VII 01–05.VI | 20.5 10.9 | 889 409 | 16.VII 16.VII | 23.8 23.8 | 1083 1083 |
| | 2002 | 01.VI 28.V | 20.2 7.5 | 300 239 | 28.VI–02.VII 28.VI–02.VII | 15.0 15.0 | 770 771 | 26.VII 18.VII | 19.6 16.6 | 1236 1081 |
| <i>A. semenovii</i> | 2001 | 12.VI 01.VI | 10.8 8 | 550 215 | 25–28.VI 01–05.VI | 12.3 10.9 | 725 409 | 16.VII 16.VII | 23.8 23.8 | 1083 1083 |
| | 2002 | 01.VI 28.V | 20.2 7.5 | 300 239 | 20–24.VII 12–16.VI | 13.4 13.7 | 656 526 | 26.VII 22.VII | 19.6 17.8 | 1236 1158 |
| <i>A. tataricum</i> | 2001 | 12.VI 01.VI | 10.8 8 | 550 363 | 29.VI–2.VII 29.VI–03.VII | 20.4 20.2 | 807 826 | 16.VII 16.VII | 23.8 23.8 | 1083 1083 |
| | 2002 | 04.VI 01.VI | 9.1 20.2 | 341 300 | 24–28.VI 20–24.VI | 14.9 13.4 | 711 656 | 30.VII 22.VII | 21.5 17.8 | 1316 1158 |

Таблица 2

Table 2

Некоторые характеристики прироста побегов (над чертой, мм)
и листьев (под чертой, мм²) у различных видов *Acer*
Some characteristics of the growth of shoots (above the line, mm)
and leaves (below the line, mm²) in different species of *Acer*

| Вид Species | Годы наблюдений Years of Monitoring | Максимальный суточный прирост Maximum daily increase | Годичный прирост Annual growth | Продолжительность роста, сут Duration of growth, day |
|--------------------------|--|--|-----------------------------------|--|
| <i>Acer ginnala</i> | 2001 | $\frac{4,2}{123}$ | $\frac{72}{3680}$ | $\frac{37}{46}$ |
| | 2002 | $\frac{2,2}{118}$ | $\frac{58}{4020}$ | $\frac{52}{55}$ |
| <i>A. negundo</i> | 2001 | $\frac{12,7}{150}$ | $\frac{215}{4950}$ | $\frac{34}{46}$ |
| | 2002 | $\frac{2,0}{112}$ | $\frac{50}{5010}$ | $\frac{52}{55}$ |
| <i>A. platanoides</i> | 2001 | $\frac{1,2}{302}$ | $\frac{29}{10670}$ | $\frac{34}{46}$ |
| | 2002 | $\frac{1,2}{305}$ | $\frac{38}{10460}$ | $\frac{44}{47}$ |
| <i>A. pseudoplatanus</i> | 2001 | $\frac{8,2}{628}$ | $\frac{179}{18540}$ | $\frac{34}{46}$ |
| | 2002 | $\frac{2,7}{542}$ | $\frac{86}{18020}$ | $\frac{56}{51}$ |
| <i>A. semenovii</i> | 2001 | $\frac{11,2}{110}$ | $\frac{174}{3720}$ | $\frac{34}{46}$ |
| | 2002 | $\frac{2,7}{102}$ | $\frac{109}{4080}$ | $\frac{56}{55}$ |
| <i>A. tataricum</i> | 2001 | $\frac{3,2}{112}$ | $\frac{65}{4270}$ | $\frac{34}{46}$ |
| | 2002 | $\frac{3,2}{145}$ | $\frac{77}{5130}$ | $\frac{56}{52}$ |

Установлено, что время кульминации прироста побегов *Асег* весьма существенно изменяется по годам. Раньше всех эта фаза наступает у *A. negundo* (20.VI–28.VI), а позднее – у *A. semenovii* (25.VI–24.VII). Таким образом, различия между видами по этому показателю достигают почти месяца. Величина максимального суточного прироста побегов у изученных видов клена также значительно различается. Его наибольшая величина (до 11–13 мм/сут) обнаружена у *A. negundo* и *A. semenovii*.

У других изучаемых видов этот показатель меньше в 2–10 раз. Следует подчеркнуть, что погодичная изменчивость величины максимального прироста у побегов может достигать 50–400 % (см. табл. 2).

Обнаруженная изменчивость в продолжительности и интенсивности роста побегов обуславливает и соответствующее различие в величине их годичного прироста. При этом погодичная вариабельность длины побегов у всех изучаемых видов *Асег* весьма значительна и достига-

ет 30–400 %. Из данных табл. 2 следует, что в 2001 г. самые длинные побеги сформировались у *A. negundo* (215 мм). На следующий год самые короткие побеги были характерны для этого вида, а также для *A. platanoides* (29–50 мм). Вероятно, сочетание погодных условий конкретного года специфически сказывается на интенсивности деятельности апикальных меристем того или иного вида. Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что величина годичного прироста побегов обусловлена

соответствующими различиями в интенсивности роста, а не в его продолжительности. Так, длина стебля у *A. semenovii* в 1,5–2 раза больше, чем у *A. tataricum*, а продолжительность роста у них одинакова.

Физиологические реакции растений, в том числе и ростовые, определяются состоянием среды и диапазоном толерантности вида к экологическим факторам (закон Шелфорда). Следовательно, установив значение факторов среды в ключевые периоды роста, а также форму и силу связи между динамикой прироста и изменчивостью этих факторов, можно судить о степени их соответствия требованиям организма.

Результаты исследований показали, рост побегов у изучаемых видов Асег может начаться при повышении среднесуточной температуры воздуха до $+9...+11\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. табл. 1). Кроме того, начало этой фенофазы зависит и от температуры воздуха предшествующего периода. К этому времени сумма положительных температур достигает $239\text{--}241\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Во время прекращения роста побегов среднесуточная температура воздуха и сумма положительных температур варьируют в довольно широких пределах: $+17,8...+23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $1015\text{--}1316\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно. Эти данные свидетельствуют о том, что сроки прекращения этой фенофазы у представителей рода *Acer* не связаны с температурным режимом, а, скорее всего, обусловлены генотипом вида. Следовательно, тепла вполне достаточно для завершения годичного

цикла развития вегетативных почек для всех изучаемых интродуцентов.

Требовательность растения к температуре воздуха в период максимального прироста побегов у различных видов Асег почти не различается. Кульминация прироста побегов может наступить уже при повышении среднесуточной температуры воздуха до $+13...+15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Между тем сумма положительных температур в этот период варьирует в широких пределах ($656\text{--}965\text{ }^{\circ}\text{C}$), что указывает на отсутствие заметного влияния данного параметра на интенсивность прироста побегов изучаемых видов.

Между интенсивностью роста побегов и температурой воздуха, как правило, прослеживается достоверная положительная и довольно слабая корреляция ($r = +0,3$). Наиболее сильная подобная связь характерна для *A. negundo* ($r = +0,6...+0,7$).

Между динамикой суточного прироста побегов и изменчивостью относительной влажности воздуха также обычно прослеживается положительная корреляция слабой и средней силы ($r = +0,2...+0,5$). Примерно такой же характер корреляции выявлен и между динамикой прироста побегов изучаемых видов и выпадением атмосферных осадков.

Зависимость интенсивности роста побегов от солнечной радиации выражена еще менее заметно ($r = +0,2...+0,3$).

Проведенные исследования позволили установить, что сроки начала роста листьев (фено-

фаза «обособление листьев на побегах») изучаемых видов Асег могут варьировать в пределах 3–7 сут (см. табл. 1). Наступление этой фенофазы за годы исследований наблюдалось 24.V–1.VI. Погодичная изменчивость в сроках прекращения роста листьев составляет не более 3–6 сут. Наблюдается эта фенофаза 10–22.VII, причем у *A. platanoides* на несколько суток раньше, чем у других видов. Незначительные погодичные различия в сроках начала и окончания роста листьев обуславливают и небольшие изменения в продолжительности их формирования у тех или иных видов Асег. В зависимости от года исследования продолжительность роста листьев может изменяться от 46 до 55 сут (см. табл. 2).

Установлено, что время интенсивного прироста листьев довольно сильно связано с видовыми особенностями и из года в год может существенно варьировать. В первую половину июня эта фаза уже наступает у *A. ginnala*, *A. semenovii* и *A. negundo*, а у других видов – во вторую половину июня и начале июля. Величина максимального прироста листьев у разных видов Асег существенно различается. Его наибольшее значение (в среднем 570 мм/сут) обнаружено у *A. ginnala*; у других видов этот показатель в 1,5–5 раз меньше. Следует отметить, что величина максимального прироста листьев у изучаемых видов Асег за годы исследований оставалась постоянной (см. табл. 2).

Значительная изменчивость интенсивности роста листьев обуславливает соответствующие различия в величине их годового прироста. Площадь листовой пластинки у *A. ginnala*, *A. semenovii* и *A. tataricum*, сформированной в разные вегетационные периоды, различалась не более чем на 8–16 %, а у других видов оставалась практически без изменений. Из данных табл. 2 следует, что наибольшая площадь листа (в среднем 1,8 дм²) формируется у *A. pseudoplatanus*, у *A. platanoides* она почти в 2 раза меньше, а у остальных видов она достигает всего 0,4–0,5 дм². Различия в величине данного показателя обуславливаются интенсивностью, а не продолжительностью роста листьев. Так, площадь листа у *A. pseudoplatanus* в 4,5 раза больше, чем у *A. semenovii*, а продолжительность роста примерно такая же.

По данным трехлетних наблюдений, начало роста листьев при самой низкой среднесуточной температуре воздуха (+2,5 °C) отмечается у *A. ginnala* и *A. negundo* (см. табл. 1). Между тем начало данной фенофазы у других видов может отмечаться только при повышении температуры до +8 °C. Рост листьев по площади заканчивается в самый теплый за вегетацию период (+17...+24 °C), когда сумма положительных температур достигает 928–1158 °C.

Требовательность растений к температуре воздуха в период максимального прироста листьев

в значительной степени определяется биологией вида. Так, его наступление у *A. platanoides* отмечено при температуре воздуха около 19 °C, а для других видов – всего при 13–14 °C. Между тем сумма положительных температур в этот период варьирует в широких пределах (409–905 °C), что указывает на отсутствие явного влияния данного параметра на интенсивности прироста у всех изучаемых видов.

Проведение корреляционного анализа позволило установить, что так же, как и в отношении стеблей, между интенсивностью роста листьев, с одной стороны, и динамикой температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков и солнечной радиации, с другой стороны, обычно прослеживается положительная и довольно заметная зависимость.

Развитие растений

Анализ данных статистической обработки фенодат изученных видов рода Асег за период наблюдений (1978–2003 гг.) показал, что ошибка среднееголетней величины фенодат весьма незначительна, составляя всего 0,1–1,5 сут. Вариабельность фенодат большей части фенофаз также невелика: среднеквадратическое отклонение при этом достигает 5–7 сут. Очень редко величина этого показателя возрастает до 12–18 сут. Изучая развитие различных видов древесных растений в Белоруссии, Н. В. Шкутко [15] обнаружил, что погодичная изменчивость

сроков начала тех или иных фенофаз может варьировать даже в гораздо больших пределах – от 12 до 27 сут.

Проведенные исследования показали, что ритмика сезонного развития изучаемых видов Асег имеет свои специфические особенности (см. табл. 3). По среднееголетним данным, быстрее всего (1–2.V) набухание почек начинается у *A. negundo* и *A. tataricum*, а у других видов – на 3–5 сут позже. Раньше всех (9–12.V) разворачивание почек происходит у этих же видов, а позже (15–21.V) – у *A. platanoides* и *A. pseudoplatanus*.

Линейный рост побегов (27–31.V) отмечается через 3–4 недели после начала набухания почек, причем у *A. pseudoplatanus* значительно позже остальных видов – 9.V. Заканчивается этот процесс позднее всего (25–28.VII) также у этого вида и *A. semenovii*, а у других видов – на декаду раньше.

Наиболее ранние сроки (3–4.VII) опробковения оснований побегов отмечены у *A. ginnala* и *A. platanoides*, у других видов – на 5–11 сут позже. Процесс опробковения побегов по всей длине у *A. negundo* заканчивается 22.VIII, у других видов – на 11 сут раньше.

В наиболее поздние сроки (30.V) обособление листьев происходит у *A. pseudoplatanus*, а у других видов – на 7–12 сут раньше. Аналогичная тенденция отмечена и для фазы распускания листьев, которая у *A. pseudoplatanus* наблюдается только 6.V. Скорее всего рост

листьев завершается у *A. platanoides* (6.VII), а позже всего (20.VII) – у *A. ginnala*.

Первыми в фазу расцветивания отмирающих листьев вступает *A. negundo* и *A. platanoides* (12–14.IX), другие виды – спустя декаду. Быстрее всего (4–5.IX) начинают опадать листья у вышеупомянутых двух видов. У остальных видов эта фенофаза отмечается примерно на неделю позже.

В связи с особенностями развития генеративной сферы изучаемые виды можно разделить на две группы: рано начинающие (*A. negundo* и *A. platanoides*) и поздно начинающие (остальные виды) фенофазы. У растений первой группы по сравнению со второй набухание и разverzание генеративных почек происходит раньше соответственно на 7–17 и 6–18 сут, бутонизация – на 15–26 сут, начало цветения – на 22–31 сут, окончание цветения – на 30–44 сут, завязывание плодов – на 5–33 сут. Быстрее всего (в конце августа) плоды созревают у *A. semenovii*, *A. platanoides* и *A. ginnala*, а у остальных видов – в первой декаде октября. Позже всего (2–16.X) плоды опадают у *A. tataricum* и *A. platanoides*, у остальных видов – в третьей декаде сентября.

Авторы многочисленных исследований [16, 17, 18] убедительно показали, что особенности развития различных видов растений обусловлены их неодинаковой требовательностью к экологическим факторам. Поэтому, определив диапазон то-

лерантности основных фенофаз к экологическим факторам, можно судить о степени адаптации данного вида растений к условиям местообитания.

При анализе состояния среды во время начала фенофаз обнаружена очень сильная погодичная вариабельность значений относительной влажности воздуха, атмосферных осадков и суммарной солнечной радиации. Между тем температурный режим воздуха в момент наступления очередной фенофазы за исследуемый период оставался довольно стабильным и заметно отличался у разных видов растений.

Исследования показали, что набухание и разverzание вегетативных почек у *A. negundo* и *A. tataricum* начинается при среднесуточной температуре воздуха соответственно около +6 и +8 °C, а у других видов – при температуре на +2...+4 °C выше. Начало линейного роста побегов при самых низких показателях теплообеспеченности (+10.8 °C) отмечается у *A. pseudoplatanus*. У остальных видов для начала данной фенофазы температура воздуха должна быть на +2...+3 °C выше. Во время прекращения роста побегов у всех изучаемых видов растений температура воздуха примерно одинакова и составляет около +16...+17 °C.

Опробковение оснований побегов у видов Асег начинается при температуре около +16...+17 °C. Опробковение побегов по всей длине при самой низкой температуре (+11,8 °C) за-

канчивается у *A. negundo*, у других видов – при +14...+15 °C.

Обособление и распускание листьев у разных видов Асег начинается при повышении среднесуточной температуры до +11...+13 °C. Рост листьев так же, как и побегов, заканчивается при температуре около +16 °C. Расцветивание отмирающей хвои у *A. negundo* и *A. pseudoplatanus* начинается уже при температуре +9...+10 °C. У других видов данная фенофаза отмечается при понижении температуры до +6 °C, а у *A. tataricum* – даже до +3,5 °C. Опадение листьев начинается у *A. negundo* и *A. platanoides* при температуре около 0 °C, у остальных видов – при заморозках (–5...–8 °C).

Набухание и разverzание генеративных почек, а также бутонизация у видов Асег идет при температуре +10...+13 °C. Начало и окончание цветения при наиболее прохладной погоде наблюдается у *A. negundo* и *A. platanoides* (+11...+14 °C). Для прохождения этих фенофаз у других видов требуется температура на +3...+4 °C выше. Аналогичная тенденция наблюдается и в сроках завязывания плодов. Созревание плодов у всех изучаемых видов заканчивается при одинаковом температурном режиме (около +11 °C). Опадение плодов при наступлении морозов происходит лишь у *A. platanoides*. Все остальные виды вступают в эту фенофазу уже при +5...+8 °C. Зависимость сроков начала и окончания фенологических фаз у древесных растений от температурного

режима окружающей среды обнаружили ранее И. Н. Елагин [19] и И. Т. Кищенко [18].

Таким образом, приведенные данные показывают, что изучаемые виды Асег по особенностям ритмики сезонного развития можно разделить на 3 группы: рано начинающие и рано заканчивающие, поздно начинающие и рано заканчивающие, поздно начинающие и поздно заканчивающие фенологические фазы. Естественно, что поздно начинающие и рано заканчивающие развитие растения проходят фенофазы при наиболее теплой погоде. Именно эту группу образуют особи *A. platanoides* – вида, естественный ареал которого заканчивается на самом юге Карелии. В несколько худших условиях оказываются рано начинающие и рано заканчивающие развитие растения (*A. negundo*). Виды, поздно начинающие и поздно заканчивающие развитие (остальные 4 вида), нередко оказываются в крайне неблагоприятных погодных условиях. При этом очередность прохождения фенофаз у изучаемых видов из года в год остается неизменной. Этот вывод согласуется с мнением Н. В. Трулевич [20].

Для того чтобы судить о направлении, форме и силе связи между экологическими факторами и сроками наступления фенофаз, был проведен корреляционный анализ. Оказалось, что данные характеристики могут существенно меняться в зависимости от биологии вида и специфики конкретной фенофазы.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о том, что повышение температуры воздуха ускоряет наступление следующих фенофаз: набухание и разverzание вегетативных и генеративных почек, опробковение ростовых побегов по всей длине, начало бутонизации и цветения ($r = +0,2 \dots +0,6$). Наоборот, пониженные температуры способствуют более раннему прохождению растениями фенофаз, характеризующих этапы развития листьев ($r = -0,3 \dots -0,8$).

Исследования показали, что повышение относительной влажности воздуха благоприятствует более раннему наступлению первых четырех фаз развития листьев, опробковению ростовых побегов по всей длине и опадению зрелых плодов ($r = +0,2 \dots +0,7$). Отрицательное влияние этого фактора установлено в отношении сроков набухания вегетативных и генеративных почек, опробковения основания побегов и опадения листьев ($r = -0,2 \dots -0,5$).

Усиление солнечной радиации ускоряет прохождение растениями фаз листьев, разverzания генеративных почек, бутонизации и опадения зрелых плодов ($r = +0,2 \dots +0,6$). Достоверное влияние атмосферных осадков на ритмику развития вегетативной и генеративной сфер видов Асег не установлено.

Перспективность интродукции

Перспективность интродукции растений оценивали по методике П. И. Лапина и С. В. Сид-

невой [14]. По данной методике наивысшие показатели оценок для степени ежегодного вызревания побегов – 20 баллов, для зимостойкости – 25 баллов, для сохранения габитуса – 10 баллов, для побегообразовательной способности – 5 баллов, для регулярности прироста побегов – 5 баллов, для способности к генеративному размножению – 25 баллов, для доступности способов размножения – 10 баллов.

Исследованиями установлено, что по 5 показателям оценки интродукции различия между изученными видами незначительны. Так, побеги вызревают не полностью (15 баллов) у *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* и *A. semenovii*. У всех других видов они вызревают полностью – 20 баллов (табл. 3). Максимальная зимостойкость, оцениваемая в 25 баллов, присуща лишь *A. platanoides* и *A. tataricum*. У других видов она на 5 баллов ниже. Высокая зимостойкость у изученных видов обнаружена и в таежной зоне Сибири [21, 22]. Установлена следующая зависимость: чем быстрее начинаются и заканчиваются такие фенофазы, как опробковение побегов и листопад, тем выше зимостойкость растений.

Максимальное сохранение габитуса (10 баллов) отмечено у всех видов. Высокая побегообразовательная способность (5 баллов) – у *A. platanoides* и *A. ginnala*. У других видов она была низкой – 1 балл. Регулярность прироста осевых побегов у всех видов оценивается как максимальная – 5 баллов.

Таблица 3

Table 3

Оценка перспективности интродукции видов *Acer* L., баллы
Assessment of the prospects of introducing *Acer* L. species, points

| Вид Species | Степень ежегодного вызревания побегов aging of shoots | Зимостойкость Winter hardiness | Сохранение габитуса Saving the habit | Побегообразовательная способность Ability to produce shoots | Регулярность прироста осевых побегов Regularity of growth of axial shoots | Способность к генеративному развитию Ability to grow generatively | Возможность размножения в культуре Ability to reproduce in culture | Общая оценка перспективности Overall assessment |
|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---|---|---|---|--|---|
| <i>Acer ginnala</i> Maxim. | 20 | 23 | 10 | 5 | 5 | 10 | 10 | 83 |
| <i>A. negundo</i> L. | 16 | 21 | 10 | 3 | 5 | 5 | 5 | 65 |
| <i>A. platanoides</i> L. | 20 | 25 | 10 | 5 | 5 | 20 | 10 | 95 |
| <i>A. pseudoplatanus</i> L. | 17 | 22 | 10 | 3 | 5 | 5 | 5 | 67 |
| <i>A. semenovii</i> Rgl. et Herd. | 16 | 21 | 10 | 3 | 5 | 5 | 5 | 65 |
| <i>A. tataricum</i> L. | 20 | 23 | 10 | 4 | 5 | 10 | 5 | 77 |

Самые большие различия между видами имеют место по показателям, связанным с развитием репродуктивной сферы. Так, семена вызревают только у *A. platanoides* (20 баллов). У *A. ginnala* и *A. tataricum* плоды не вызревают. Но растения цветут – 15 баллов. Остальные виды вообще не цветут. Возможность размножения интродукта в культуре обнаружена у *A. platanoides*, *A. ginnala* и *A. tataricum* (10 баллов). У остальных видов такая возможность совершенно отсутствует.

На основании вышеприведенных данных получена общая оценка перспективности изучаемых интродуктов. К очень перспективным относятся *A. platanoides*, *A. ginnala* и *A. tataricum* (более 77 баллов), а к доволь-

но перспективным – остальные виды. Высокая перспективность изученных видов Асег установлена и в таежной зоне Сибири [5, 23].

Выводы

1. Рост листьев у изученных видов Асег начинается в конце мая, а побегов – в первой половине июня. При этом различия между видами не превышают 3–4 сут.

2. Время прекращения роста побегов и листьев у разных видов Асег отличается не более чем на 3–7 сут и наблюдается во второй половине июля.

3. Благодаря максимальной интенсивности ростовых процессов наибольшая площадь листовой пластинки формируется у *A. pseudoplatanus* и у *A. platanoides*. Величина годового при-

роста побегов у изученных видов претерпевает значительные изменения.

4. Сроки начала и кульминации прироста побегов и листьев определяются в основном температурой воздуха, в связи с чем они могут испытывать погодичную изменчивость в пределах 1–3 недель.

5. Между интенсивностью прироста побегов и листьев, с одной стороны, и динамикой температуры и влажности воздуха, атмосферных осадков и солнечной радиации, с другой стороны, обычно прослеживается положительная и довольно заметная зависимость.

6. Установлены группы растений в зависимости от сроков прохождения фенофаз: поздно начинающие и рано заканчивающие развитие (*A. platanoides*), рано

начинающие и рано заканчивающие (*A. negundo*), поздно начинающие и поздно заканчивающие развитие (остальные 4 вида).

7. Сроки наступления большей части фенофаз у изученных видов Асег в значительной

мере зависят от температуры и влажности воздуха, а также солнечной радиации. Зависимость между сроками наступления фенофаз и изучаемыми климатическими факторами носит прямолинейный характер, а ее форма и сила определяются биологией

вида и спецификой самой фенофазы.

8. К очень перспективным для интродукции в таежную зону относятся *A. platanoides*, *A. ginnala* и *A. tataricum*, а к довольно перспективным – *A. negundo*, *A. pseudoplatanus* и *A. semenovii*.

Библиографический список

1. Колесниченко, А. Н. Сезонные ритмы развития древесных интродуцентов / А. Н. Колесниченко // Охрана, изучение и обогащение растительного мира. – Киев, 1985. – С. 21–32.
2. Плотникова, Л. С. Рост и развитие древесных растений в культуре / Л. С. Плотникова, Е. М. Губина // Сезонный ритм интродуцированных древесных растений флоры СССР в ГБС АН СССР. – Москва, 1986. – С. 127–149.
3. Беланова, А. П. Интродукция представителей рода Асег в Новосибирске / А. П. Беланова, Л. Н. Чиндяева, Е. М. Лях // Растительный мир Азиатской России. – 2019. – № 4 (36). – С. 43–47.
4. Калущий К. К. Биоэкологические особенности лесной интродукции / К. К. Калущий, Н. А. Болотов // Лесная интродукция. – Воронеж, 1983. – С. 4–14.
5. Шестак, К. В. Оценка состояния интродуцентов рода Асег L. в дендрарии СИБГТУ / К. В. Шестак // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 10 (85). – С. 153–157.
6. Мартынов, Л. Г. Интродукция видов клена в республике Коми / Л. Г. Мартынов // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2017. – № 4 (32). – С. 25–32.
7. Bradshaw, W. R. H. The origins and dynamics of native forest ecosystems: Backerouny d tho the use of exotic species in forestry / W. R. H. Bradshaw // Pap. 9th Annu. Meet. Nord. Group Forest Genet. and Free Breed., Hallormsstadur (June 12–16, 1996). – Buvisindi, 1995. – № 4. – P. 7–115.
8. Лапин, П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции / П. И. Лапин // Бюл. ГБС АН СССР. – 1967. – Вып. 65. – С. 12–18.
9. Hatch, L. C. Cultivars of Woody Plants. / L. C. Hatch. – Vol. 1, A–G. – TCR Press, 2007. – URL: <http://books.google.ru/books?id=a-jo55L6LMUC&printsec=frontcover&dq=Cultivars+of+Woody+Plants.+Hatch&source#v>
10. Schmidt J. F. & son CO. New Trees. 2008–2009. – Oregon. – URL: http://www.jfschmidt.com/pdfs/JFS_New.2009.pdf
11. Черепанов, С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР) / С. К. Черепанов. – Санкт-Петербург, 1995. – 992 с.
12. Молчанов, А. А. Методика изучения прироста древесных растений / А. А. Молчанов, В. В. Смирнов. – Москва : Наука, 1967. – 95 с.
13. Булыгин, Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями / Н. Е. Булыгин. – Ленинград : ЛТА, 1979. – 123 с.
14. Лапин, П. И. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений / П. И. Лапин, С. В. Сиднева // Опыт интродукции древесных растений. – Москва, 1973. – С. 7–68.
15. Шкутко, Н. В. Хвойные Белоруссии / Н. В. Шкутко. – Москва : Наука, 1991. – 263 с.
16. Ворошилов, В. Н. Ритм развития у растений / В. Н. Ворошилов. – Москва : Наука, 1960. – 312 с.
17. Сабинин, Д. А. Физиология развития растений / Д. А. Сабинин. – Москва : Наука, 1966. – 233 с.
18. Кищенко, И. Т. Рост и развитие аборигенных и интродуцированных видов семейства Pinaceae Lindl. в условиях Карелии / И. Т. Кищенко. – Петрозаводск : ПетрГУ, 2000. – 211 с.

19. Елагин, И. Н. Связь между фенологическим состоянием и степенью сформированности годичного слоя у древесных пород Сибири / И. Н. Елагин // Возобновление и формирование лесов Сибири. – Красноярск, 1969. – С. 136–142.
20. Трулевич Н. В. Эколого-фитоценотические основы интродукции растения / Н. В. Трулевич. – Москва : Наука, 1991. – 214 с.
21. Кааль, Е. С. Интродукция видов рода *Acer* L. в Ботаническом саду им. С. М. Крутовского / Е. С. Кааль, В. Е. Максименко // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сборник статей по материалам Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, посвященной 85-летию СибГТУ – Красноярск, 2015. – С. 7–9.
22. Шестак, К. В. Изучение особенностей адаптации интродуцентов рода *Acer* L. в ЦСБС СО РАН / К. В. Шестак, И. А. Алехин // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения : сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции: в 2 томах. – 2016. – С. 30–32.
23. Дорофеева, Л. М. Результаты интродукции рода *Acer* L. на Среднем Урале / Л. М. Дорофеева // Вестник ИРГСХА. – 2011. – № 44–1. – С. 33–42.

Bibliography

1. Kolesnichenko, A.N. Seasonal rhythms of development of wood ntroducers / Protection, study and enrichment of the plant world. / A.N. Kolesnichenko. – Kiev, 1985. – P. 21–32.
2. Plotnikova, L. S. Growth and development of woody plants in culture / L. S. Plotnikova, E. M. Gubina // Seasonal rhythm of introduced woody plants of the USSR flora in GBS AN USSR. – Moscow, 1986. – P. 127–149.
3. Belanova, A. P. Introduction of representatives of the genus *Acer* in Novosibirsk / A. P. Belanova, L. N. Chindyaeva, E. M. Lyakh // Plant World of Asian Russia. – 2019. – № 4 (36). – P. 43–47.
4. Kalutsky, K. K. Bioecological features of forest introduction / K. K. Kalutsky, N. A. Bolotov // Forest introduction. – Voronezh, 1983. – P. 4–14.
5. Shestak, K. V. Assessment of the state of introducers of the genus *Acer* L. in the arboretum of SIBGTU / K. V. Shestak // Bulletin of the Krasnodar State Agrarian University. – 2013. – № 10 (85). – P. 153–157.
6. Martynov, L. G. Introduction of Maple Species in the Republic of Komi / L. G. Martynov // Bulletin of the Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2017. – № 4 (32). – P. 25–32.
7. Bradshaw, W. R. H. The origins and dynamics of native forest ecosystems: Backerounyd tho the use of exotic species in forestry / W. R. H. Bradshaw // Pap. 9th Annu. Meet. Nord. Group Forest Genet. and Free Breed., Hallormsstadur (June 12–16, 1996). – Buvisindi, 1995. – № 4. – P. 7–115.
8. Lapin, P. I. Seasonal rhythm of the development of woody plants and its significance for introduction / P. I. Lapin // Bull. GBS AN USSR. – 1967. – Issue 65. – P. 12–18.
9. Hatch, L. C. Cultivars of Woody Plants. / L. C. Hatch. – Vol. 1, A–G. – TCR Press, 2007. – URL: <http://books.google.ru/books?id=a-jo55L6LMUC> printsec=frontcover&dq=Cultivars+of+Woody+Plants.+Hatch&source#v
10. Schmidt J. F. & son CO. New Trees. 2008–2009. – Oregon. – URL: http://www.jfschmidt.com/pdfs/JFS_New.2009.pdf
11. Cherepanov, S. K. Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR) / S.K. Cherepanov. – St. Petersburg, 1995. – 992 p.
12. Molchanov, A. A. Methodology for studying the growth of woody plants / A. A. Molchanov, V. V. Smirnov. – Moscow : Publishing house Science, 1967. – 95 p.
13. Bulygin, N. E. Phenological observations of woody plants / N. E. Bulygin. – Leningrad : Publishing House of LTA, 1979. – 123 p.
14. Lapin, P. I. Assessment of the prospects of introducing woody plants according to visual observations / P. I. Lapin, S. V. Sidneva // Experience in introducing woody plants. – Moscow, 1973. – P. 7–68.

15. Shkutko, N. V. Coniferous Belarus / N. V. Shkutko. – Moscow : Nauka, 1991. – 263 p.
 16. Voroshilov, V. N. The rhythm of development in plants / V. N. Voroshilov. – Moscow : Nauka, 1960. – 312 p.
 17. Sabinin, D. A. Physiology of plant development / D. A. Sabinin. – Moscow : Science, 1966. – 233 p.
 18. Kishchenko, I. T. Growth and development of native and introduced species of the Pinaceae Lindl. in the conditions of Karelia / I. T. Kishchenko. – Petrozavodsk : Publishing House of PetrSU, 2000. – 221 p.
 19. Elagin, I. N. The relationship between the phenological state and the degree of formation of the annual layer in Siberian wood species / I. N. Elagin // Renewal and formation of Siberian forests. – Krasnoyarsk, 1969. – P. 136–142.
 20. Trulevich, N. V. Ecological and phytocenotic basis of plant introduction / N. V. Trulevich. – Moscow : Science, 1991. – 214 p.
 21. Kaal, E. S. Introduction of species of the genus Acer L. in the Botanical Garden. CM. Krutovsky / E. S. Kaal, V. E. Maksimenko // Forest and chemical complexes – problems and solutions : Collection of articles on the materials of the All-Russian (with international participation) scientific-practical conference. The conference is dedicated to the 85th anniversary of SibGTU. – Krasnoyarsk, 2015. – P. 7–9.
 22. Shestak, K. V. Studying the peculiarities of the introduction of introducers of the Acer L. genus at the Central Scientific and Biological Center SB RAS / K. V. Shestak, I. A. Alekhine // Forest and Chemical Complexes. – Problems and Solutions : Collection of articles on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference : In 2 volumes. – Krasnoyarsk, 2016. – P. 30–32.
 23. Dorofeeva, L. M. The results of the introduction of the genus Acer L. in the Middle Urals / L. M. Dorofeeva // Bulletin of the Irkutsk State Agricultural Academy. – 2011. – № 1–44. – P. 33–42.
-

УДК 630*1

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ФЕРРОСПЛАВНОГО ЗАВОДА НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ

А. Ф. МУРАШОВ – магистрант кафедры лесных культур и биофизики*,
e-mail: afmurashov@gmail.com

А. В. КАПРАЛОВ – кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры лесных культур и биофизики*,
e-mail: dekanat_zf@inbox.ru *

* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

Ключевые слова: биоиндикация, промышленные поллютанты, ферросплавный завод, санитарное состояние древостоев, оценка фитотоксичности, лишеноиндикация, возраст хвой.

Большинство металлургических предприятий оказывает негативное воздействие на лесные насаждения прилегающих к нему территорий. Одним из таких участков являются лесные насаждения вблизи п. Двуреченск Свердловской области, окружающие ферросплавный завод ПАО «КЗФ». Известно, что поллютанты металлургических предприятий оказывают влияние на все компоненты биогеоценоза, в частности на лесную растительность. Завод в последние десятилетия не работает на полную мощность и в значительной степени отвечает современным экологическим требованиям. Однако так было не всегда: очистные сооружения завода не обеспечивали задержание вредных выбросов, в результате чего накопление поллютантов на прилегающих территориях проводилось более полувека. Цель настоящей работы – оценка воздействия